

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 145—2026

地下工程围岩爆破振动安全判据构建 技术要求

Technical requirements for establishing safety criteria for blasting vibration in
surrounding rock of underground engineering

2026 - 02 - 06 发布

2026 - 02 - 09 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 1

5 构建流程 2

附录 A（资料性） 监测数据计算与统计表 5

附录 B（资料性） 不同 BQ 围岩爆破振动安全判据 6

参考文献 7

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：山东科技大学、东南大学、江西省地质局第五地质大队、北京科技大学、中国矿业大学、南京理工大学、江西理工大学、安徽理工大学、长安大学、中煤科工开采研究院有限公司、石家庄铁道大学、聊城大学、中铁五局集团有限公司。

本文件主要起草人：李建春、王晓、李文鑫、李星、史新帅、孙文斌、万义有、刘梁、刘力源、周浩、张学朋、刘进晓、袁伟、谢理想、王振、潘城、张权、杨建威、柴少波、戎立帆、刘攀飞、刘万荣、杨荣周、吉凌。

本文件为首次发布。

地下工程围岩爆破振动安全判据构建技术要求

1 范围

本文件规定了地下工程围岩爆破振动安全判据构建的总体要求和构建流程。
本文件适用于地下工程围岩爆破振动安全判据构建。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 6722 爆破安全规程

GB/T 50218 工程岩体分级标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

峰值质点振动速度 peak particle velocity

振动波形的正向峰值与负向峰值的绝对值中的最大值。

[来源：GB 6722—2014, 12.5]

3.2

主振频率 main vibration frequency

介质质点最大振幅对应波的频率。

[来源：GB 6722—2014, 12.5]

3.3

岩体基本质量 rock mass basic quality

岩体固有的、影响工程岩体稳定性的岩石坚硬程度和岩体完整程度等基本属性。

[来源：GB/T 50218—2014, 8.27]

3.4

围岩损伤 surrounding rock damage

在工程活动（如爆破开挖）或地震等外力作用影响下，围岩内部因微结构缺陷（如微裂纹、孔隙、节理等）的萌生、扩展、贯通、滑移，导致其宏观力学性能（如强度、刚度、渗透性能）发生不可逆劣化的过程。

4 总体要求

4.1 区分爆破围岩等级

4.1.1 爆破围岩等级划分按 GB/T 50218 的规定执行，采用岩体基本质量（BQ）进行定量表征。

4.1.2 爆破围岩岩石坚硬程度应包括坚硬岩、较坚硬岩、较软岩。

4.1.3 爆破围岩岩石风化程度应包括未风化、微风化、中等（弱）风化。

4.1.4 爆破围岩岩体完整程度应包括完整、较完整、较破碎。

4.1.5 爆破围岩结构面结合程度应包括结合好、结合一般、结合差和结合很差。

4.2 综合考量爆破工艺与爆破参数

4.2.1 药包结构应包括集中药包（药包的最长边不超过最短边的 4 倍）和延长药包（药包的最长边大

于最短边的 4 倍)。

4.2.2 装药结构应包括连续装药(炸药在炮孔内连续填充)、间隔装药(将炸药分成数段,中间用空气、炮泥或惰性材料隔开)、耦合装药(药包直径与炮孔直径基本相同)和不耦合装药(药包直径小于炮孔直径)。

4.2.3 起爆方式应包括正向起爆(雷管在孔口端的装药处)、反向起爆(雷管在孔底端的装药处)和多点起爆(在药柱的多个位置设置起爆点)。

4.2.4 爆破方法应包括深孔爆破(炮孔直径大于 50 mm,并且深度大于 5 m)、浅孔爆破(炮孔直径小于或等于 50 mm,深度小于或等于 5 m)等。

4.2.5 掏槽方式应包括倾斜眼掏槽、直眼掏槽和混合掏槽方式。

4.2.6 炸药类型应包括单质炸药(如梯恩梯、黑索金、硝化甘油等)和混合炸药(如铵油炸药、乳化炸药等)。

4.2.7 雷管类型应包括火雷管、电雷管、导爆管雷管、数码电子雷管等。

4.2.8 孔网参数应包括不同的孔径(钻孔的直径)、孔深(钻孔的深度)、抵抗线(药包中心到自由面的最短距离)、孔距(同一排炮孔之间的距离)、排距(多排炮孔时,前后两排炮孔之间的距离)等参数。

4.2.9 装药参数应包括不同的单耗(爆破单位体积岩石所消耗的炸药量)、单孔装药量(单个炮孔内装填的炸药总重量)、线装药密度(每米炮孔长度内装填的炸药量)、装药长度(炮孔内装填炸药部分的长度)、堵塞长度(炮孔内填塞炮泥部分的长度)等参数。

4.2.10 起爆时序参数应包括不同的时差(在毫秒延期起爆中,各炮孔或各组炮孔之间起爆的时间间隔)、起爆顺序(炮孔起爆的先后空间顺序)等参数。

4.3 科学布置测点

4.3.1 在围岩纵向、横向科学布置测点,确保测点数据覆盖洞(硐)身、洞(硐)口等关键空间结构,且测点数量充足。

4.3.2 纵向测点布置间距宜为 3 m~10 m,至少包含 5 个测点。

4.3.3 横向测点布置间距宜为 1 m~3 m,至少包含 5 个测点。

4.3.4 距爆源最近测点距离宜为 5 m~50 m,根据爆破药量以及爆破振动监测仪器的防护环境决定;爆破药量小,爆破振动监测仪器防护好或者处于邻近非爆破洞(硐)室,应取小值。

4.4 划分围岩保护等级

4.4.1 根据围岩的用途(如矿山、交通、水利等)、使用年限、重要性等,应将围岩的保护等级划分为 I、II、III 三个等级。

4.4.2 围岩保护等级 I 的划分依据为:围岩无原始裂纹扩展、无新增裂纹、无块体滑动,不影响围岩的强度和渗流特性。

4.4.3 围岩保护等级 II 的划分依据为:围岩原始裂纹扩展但不贯通、有新增非贯通裂纹、围岩块体滑动但仍可以保持稳定,轻微影响围岩的强度和渗流特性。

4.4.4 围岩保护等级 III 的划分依据为:围岩原始裂纹扩展贯通、有新增贯通裂纹、围岩个别块体滑动掉落但无大面积掉块现象,影响围岩的强度和渗流特性。

4.5 明确安全判据指标

4.5.1 采用峰值质点振动速度(PPV)和主振频率(f)作为安全判据指标,根据围岩 BQ 分类及 f 范围,给出不同条件下的爆破振动安全 PPV 值。

4.5.2 PPV 应为三向(X、Y、Z 方向)峰值质点振动速度的最大值。

4.5.3 f 的范围分类取值参考 GB 6722,应包括 $f \leq 10$ Hz、 $10 \text{ Hz} < f \leq 50$ Hz、 $f > 50$ Hz 三类。

4.5.4 围岩 BQ 的确定和分类按 GB/T 50218 的规定执行。

5 构建流程

5.1 场地筛选与围岩 BQ 定量化表征

5.1.1 爆破振动监测场地应在爆破振动监测前筛选，应确保工程围岩 BQ 以及爆破工艺与爆破参数的多样性，满足 4.1~4.2 的要求。

5.1.2 围岩 BQ 定量化表征参照 GB/T 50218 执行，BQ 可按下式确定：

$$BQ = 100 + 3R_c + 250K_v \quad (1)$$

式中：

R_c ——岩石饱和单轴抗压强度；

K_v ——岩体完整性指数。

5.1.3 一般情况下， R_c 和 K_v 采用实测值，当没有实测值时， R_c 可按式换算：

$$R_c = 22.82I_{s(50)}^{0.75} \quad (2)$$

式中：

$I_{s(50)}$ ——岩石点荷载强度指数。

5.1.4 对于岩体完整性指数，当无条件取得实测值时，可用岩体体积节理数 J_v ，并按表 1 确定对应的 K_v 值。

表 1 J_v 和 K_v 的对应关系

J_v (条/m ³)	< 3	3 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 35	≥ 35
K_v	> 0.75	0.75 ~ 0.55	0.55 ~ 0.35	0.35 ~ 0.15	≤ 0.15

5.1.5 采用公式 (1) 计算时，应符合下列规定：

- 当 $R_c > 90K_v + 30$ 时，应以 $R_c = 90K_v + 30$ 和 K_v 带入计算 BQ 值；
- 当 $K_v > 0.04R_c + 0.4$ 时，应以 $K_v = 0.04R_c + 0.4$ 和 R_c 带入计算 BQ 值。

5.2 现场测试

5.2.1 现场测点布置应满足 4.3 的要求。

5.2.2 现场爆破振动数据测试应采用三向爆破振动监测仪，并应符合下列规定：

- 采样频率宜为 1~50 kHz；
- 频率响应范围宜为 0~5 kHz；
- 可连续触发记录，记录精度不应小于 0.01 cm/s。

5.2.3 每种测点布置方式至少在相同爆破和围岩等级条件下测试 3 次。

5.2.4 通过钻孔窥视法、声波法、地质雷达法、地震波 CT 法、电阻率法等方法观测围岩的损伤情况，应包括原始裂纹扩展情况、新增裂纹情况以及块体滑动与掉落情况。

5.2.5 通过现场记录观察、声波测试、取样试验等方法获得围岩岩石坚硬程度、风化程度、岩体完整程度、结构面结合程度以及爆破工艺与爆破参数、地下空间结构等内容。

5.3 测试数据计算与统计

5.3.1 现场测试过程中以及测试后应对测试数据进行计算与统计，计算与统计内容见附录 A。

5.3.2 峰值质点振动速度 PPV 应通过分析振动波形的正向峰值与负向峰值的绝对值中的最大数值获得，并应满足式 (3) 的要求。

$$PPV = \max\{PPV_x, PPV_y, PPV_z\} \quad (3)$$

式中：

PPV_x, PPV_y, PPV_z ——爆破振动三向振动速度波形的峰值速度。

5.3.3 主振频率 f 应按 PPV 对应方向上的速度时程曲线，经傅里叶变换获得。

5.3.4 比例距离 SD 应按式计算：

$$SD = \frac{R}{Q^{1/3}} \quad (4)$$

式中：

R ——监测点至爆源中心距离；

Q ——炸药量，齐发爆破为总药量，延时爆破为最大单段药量。

5.3.5 围岩损伤统计应包括围岩原生裂隙扩展情况、新增裂隙情况以及块体滑动与掉落情况。

5.4 围岩爆破振动响应与围岩 BQ 相关性分析

5.4.1 通过统计分析确定不同爆破工艺与爆破参数条件下围岩振动 PPV 与围岩 BQ 的相关性，建立下列基于围岩 BQ 的爆破振动 PPV 传播衰减预测方程：

$$PPV = K(BQ) \times (SD)^{-\beta(BQ)} \quad (5)$$

式中：

$K(BQ)$, $\beta(BQ)$ ——与围岩 BQ 相关的场地系数。

5.4.2 通过统计分析确定不同爆破工艺与爆破参数条件下围岩主振频率 f 与围岩 BQ 的相关性。

5.4.3 通过统计分析确定不同爆破工艺与爆破参数条件下围岩裂纹扩展、块体滑动与围岩 BQ 的相关性。

5.5 不同 BQ 围岩爆破振动安全判据构建

5.5.1 不同 BQ 围岩爆破振动安全判据内容见附录 B。其中，依据 GB/T50218， $BQ > 550$ 、 $451 < BQ \leq 550$ 、 $351 < BQ \leq 450$ 、 $251 < BQ \leq 350$ 和 $BQ \leq 250$ 所对应的围岩等级为 I、II、III、IV、V。

5.5.2 不同 BQ 围岩爆破振动安全判据建立应满足 4 的要求。

5.5.3 不同 BQ 围岩爆破振动安全判据建立应基于 5.1~5.4 的数据测试、计算与统计分析，相同围岩 BQ 范围、 f 范围以及围岩保护等级条件下取 PPV 小值作为安全判据。

5.5.4 对于复杂应力、特殊地质环境以及安全等级高、设计使用年限长或失稳后会造成严重后果的关键工程（如核废料处置库、地下战略储备库等），其围岩爆破振动安全判据应采用 I 级判据，并进行折减修正，折减系数宜为 0.5~0.8。

附 录 B
(资料性)
不同 BQ 围岩爆破振动安全判据

围岩保护等级	围岩 BQ	PPV (cm/s)		
		$f \leq 10 \text{ Hz}$	$10 < f \leq 50 \text{ Hz}$	$f > 50 \text{ Hz}$
I 级 (围岩无原始裂纹扩展、无新增裂纹、无块体滑动,不影响围岩的强度和渗流特性)	BQ > 550			
	451 < BQ ≤ 550			
	351 < BQ ≤ 450			
	251 < BQ ≤ 350			
	BQ ≤ 250			
II 级 (围岩原始裂纹扩展但不贯通、有新增非贯通裂纹、围岩块体滑动但仍可以保持稳定,轻微影响围岩的强度和渗流特性)	BQ > 550			
	451 < BQ ≤ 550			
	351 < BQ ≤ 450			
	251 < BQ ≤ 350			
	BQ ≤ 250			
III 级 (围岩原始裂纹扩展贯通、有新增贯通裂纹、围岩个别块体滑动掉落但无大面积掉块现象,影响围岩的强度和渗流特性)	BQ > 550			
	451 < BQ ≤ 550			
	351 < BQ ≤ 450			
	251 < BQ ≤ 350			
	BQ ≤ 250			

备注:

参 考 文 献

- [1] GB 6722—2014 爆破安全规程
 - [2] GB/T 50218—2014 工程岩体分级标准
-